

# Primjena satelitske tehnologije u modelima okolišnog inženjerstva

---

Fadiga, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:835553>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**PRIMJENA SATELITSKE TEHNOLOGIJE U MODELIMA  
OKOLIŠNOG INŽENJERSTVA**

Rijeka, rujan 2023.

Tin Fadiga

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**PRIMJENA SATELITSKE TEHNOLOGIJE U MODELIMA  
OKOLIŠNOG INŽENJERSTVA**

Mentor: Prof. dr. sc. Lado Kranjčević

Rijeka, rujan 2023.

Tin Fadiga

0082057511

## IZJAVA

U skladnosti s člankom 9. pravilnika o završnom radu i završnom ispitu na preddiplomskom sveučilišnom i stručnom studiju Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio Završni rad u razdoblju od 20. ožujka 2023. do 01. rujna 2023. godine. Završni rad sam izradio iz kolegija „Mehanike fluida“ prema zadatku Povjerenstva za završne ispite preddiplomskog sveučilišnog studija strojarstva, pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Lade Kranjčevića te je zadan 20. ožujka 2023.

Rijeka, rujan 2023.

---

Tin Fadiga

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. OPĆENITO O SATELITIMA.....	2
2.1. Povijest satelita.....	2
2.2. Vrste satelita .....	3
2.3. Građa satelita.....	4
2.3.1. Materijali .....	4
2.3.2. Komponente satelita za promatranje zemlje .....	5
2.4. Lansiranje satelita i kruženje orbitom .....	5
3. REGIONALNI OCEANOGRAFSKI MODELI.....	6
3.1. Oceani i oceanografija.....	6
3.2. Općenito o oceanografskim modelima.....	7
3.2.1. Stvaranje oceanografskih modela.....	8
3.2.2. Primjena oceanografskih modela .....	8
3.3. Nemo oceanografski model.....	10
3.3.1 Komponente Nemo modela.....	10
4. COPERNICUS MARINE SERVIS.....	12
4.1. Općenito o copernicus marine servisu .....	12
4.2. Uloga copernicus marine servisa.....	12
4.3. Sentinel sateliti .....	13
4.4. Varijable.....	14
4.4.1. Plavi ocean .....	15
4.4.2. Zeleni ocean .....	15
4.4.3. Bijeli ocean.....	15

4.5. Pristup podacima copernicus marine servisa .....	16
5. ANALIZA PODATAKA POMOĆU PYTHON-A .....	19
5.1. Domene analize podataka.....	19
5.2. Opis koda u python-u .....	19
5.3. Rezultati analize temperature jadranskog mora .....	21
5.3.1. Rezultati 1.1.2023. ....	21
5.3.2. Rezultati 1.2.2023. ....	22
5.3.3. Rezultati 1.3.2023. ....	23
5.3.4. Rezultati 1.4.2023. ....	24
5.3.5 Rezultati 1.5.2023. ....	25
5.3.6. Rezultati 1.6.2023. ....	26
5.4. Analiza rezultata dobivenih podataka .....	27
6. ZAKLJUČAK .....	31
LITERATURA .....	32
POPIS SLIKA .....	36
POPIS TABLICA .....	37
SAŽETAK.....	38

# 1. UVOD

U današnjem svijetu, svjedočimo znatnim klimatskim promjenama. Smanjenje količine leda, povećanje temperatura oceana, temperatura zraka, povećanje razine mora i oceana samo su neke od simptoma globalnog zatopljenja. Budući da ljudi imaju velik utjecaj na klimatske situacije na planetu Zemlji, briga za očuvanje prirode, zaštite ekosustava je jako bitna. U tom pogledu, satelitska tehnologija pojavljuje se kao moćan alat u modeliranju okolišnih promjena koji znatno pridonose minimiziranju ljudskog utjecaja na okoliš.

Ovaj završni rad fokusira se na ulogu satelitske tehnologije u području okolišnog inženjerstva. U narednim poglavljima istraživat će se različiti aspekti satelitske tehnologije, regionalnih oceanografskih modela te njihove uloge u praćenju i analizi okolišnih fenomena. Također opisan će se servis zaslužan za iznimno velik izvor podataka mjerenja, bilo satelitskih, bilo *in situ* mjerenja, Copernicus Marine.

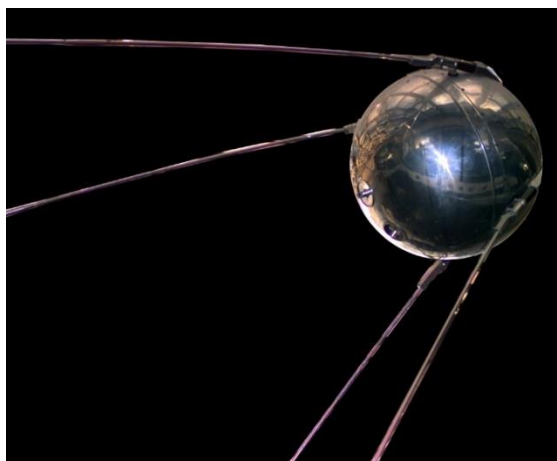
Analiza podataka Copernicus Marine servisa, odradit će se pomoću programskog jezika Python te će se razmatrati promjene temperatura Jadranskog mora u različitim vremenskim intervalima, pružajući konkretan uvid u promjene i varijacije temperatura Jadranskog mora.

## 2. OPĆENITO O SATELITIMA

Stručna definicija satelita bi bila, objekt koji kruži oko planeta ili zvijezda po unaprijed definiranoj orbiti [1]. Ti objekti nisu samo umjetni sateliti koje je čovjek lansirao u svemir već i prirodni sateliti kao što je primjerice Mjesec koji kruži oko Zemlje. Danas se u orbitama Zemljine atmosfere nalazi više od osam tisuća satelita svaki sa svojom funkcijom. Oni predstavljaju neizostavan dio modernog života, te su i jedan od glavnih razloga brzog napretka tehnologije u ovome stoljeću. Sateliti igraju važnu ulogu u brojnim područjima, te su u nekima neizostavni, primjerice telekomunikacije, meteorologija, navigacija, sigurnost, i tako dalje. U ovom radu pojam interesa bit će umjetni satelit te specifično sateliti koji su fokusirani na promatranje Zemlje.

### 2.1. Povijest satelita

Prva ideja satelita potječe čak iz 19. stoljeća kada se spominje u noveli „The Brick Moon“, no tada je to sve bila fikcija jer lansiranje satelita u svemir je zahtijevalo jako puno proračuna o kojima se tada nije ni razmišljalo, od lansiranja pa sve do izračuna Zemljine orbite. No 1957. godine, nakon uspješnog proračuna Zemljine orbite, Sovjetski savez je uspješno lansirao prvi satelit pod nazivom Sputnik 1 (Slika 2.1.1), koji je u usporedbi s današnjim satelitima bio vrlo primitivan budući da je kružeći oko Zemlje emitirao karakteristični zvuk [2]. Ubrzo nakon toga, razvoj satelita je značajno napredovao, lansiranje je postala relativno uobičajena pojava. Neupitno je da će razvoj satelita te tehnologija koje koriste još pomaknuti granice istraživanja u budućnosti.



*Slika 2.1.1. Sputnik 1, prvi umjetni satelit [29]*



## 2.2. Vrste satelita

Osnovna je podjela satelita prema tome je li prirodni ili umjetni, ali budući da se u ovom radu govori o umjetnim satelitima, za njih postoje dvije nove podjele, prema orbitama kojima kruže te prema funkciji koju izvršavaju.

Podjela satelita prema orbiti kojom kruže [3]:

- Sunčeve sinkrone orbite (engl. SSO – *Sun synchronous orbit*), smješteni na visini između 600km i 800km od ekvatora, period u kojem naprave krug oko Zemlje iznosi oko 100 minuta
- Niske orbite oko Zemlje (engl. LEO – *low Earth orbit*), smješteni na visini između 100km i 2000km od ekvatora, period u kojem naprave krug oko Zemlje iznosi 128 minuta
- Srednje orbite oko Zemlje (engl. MEO – *medium Earth orbit*), smješteni na visini od 5000km i 20000km od ekvatora, period u kojem naprave krug oko Zemlje iznosi 720 minuta
- Geostacionarne orbite Zemlje – (engl. GEO – *geostationary orbit*), smješteni na visini od otprilike 36000km, period u kojem naprave krug oko Zemlje iznosi 436 minuta
- Transferne geostacionarne orbite – (engl. GTO *Geostationary Transfer Orbit*), smješteni na istoj visini kao i geostacionarni, ali imaju drugačiju putanju u odnosu na njih, te njihov period kruženja Zemlje iznosi 630 minuta

Dostupnost komunikacije i primjerice televizijskih usluga samo je jedno od mnogih 'usluga' koje pružaju sateliti. Većina satelita koji su lansirani posljednjih godina izvršavaju jako širok spektar funkcija, ali primarna podjela primjene satelita je:

- Komunikacije
- Promatranje Zemlje
- Navigacija
- Astronomija

U pružanju telekomunikacijskih usluga, bez kojih današnji stil života u pravilu ne bi bio moguć ili bio u potpunosti bio drugačiji, glavnu ulogu imaju sateliti zasluženi za komunikaciju. Danas se u svemiru nalazi preko dvije tisuće satelita koju isključivo služe za prijenos analognih i digitalnih signala koji prenose razne podatke, primjerice zvučne s različitih lokacija na Zemlji na različite lokacije na Zemlji.

Naravno, ljudi danas sve rjeđe koriste auto karte za snalaženje u prometu, danas je to zamijenio Globalni položajni sustav (GPS) koji kao osnova svojeg funkcioniranja koristi satelite, pružajući vrlo precizno pozicioniranje. GPS prijamnik na Zemlji mjeri koliko vremena treba radio signalu da doputuje od tri do četiri satelita kalkulantajući udaljenost od svakoga, te na temelju te kalkulacije se određuje korisnikova geografska širina, geografska dužina te nadmorska visina.

Što se tiče astronomije, sateliti su pridonijeli značajnom napretku te raznim astronomskim otkrićima. Proučavanje svemira je vrlo ograničeno sa Zemlje pa se u Zemljine orbite lansiraju sateliti koji imaju teleskope konstruirane na sebe. Najpoznatiji takvi sateliti su Hubble te najnoviji James Webb.

Na kraju, vrsta satelita koja je područje interesa ovog rada su sateliti koji služe za proučavanje Zemlje. To su sateliti za daljinsko očitavanje koji su opremljeni s najnaprednijim sensorima te slikovnim uređajima, pružaju mogućnost stvaranja slika visoke razlučivosti Zemlje, mora i oceana te Zemljine atmosfere. Njihova primjena je vrlo široka, te obuhvaća promatranje okoliša, prirodnih nepogoda, poljoprivredu, urbanističko planiranje, istraživanje klime i još mnogih drugih. Na temelju podataka dobivenih od takvih satelita primijetile su se klimatske promjene, deforestacija te su jedan od razloga zašto se danas počinje obraćati pozornost na negativne klimatske promjene. Bitan aspekt ovih satelita je i meteorologija, znanost koja je imala znatna poboljšanja od uvođenja satelita. Pokrivajući područje cijele Zemlje, te pružajući podatke u stvarnom vremenu omogućuju danas čovječanstvu vrlo precizno predviđanje vremenske prognoze, što ima jako velik utjecaj i na sigurnost jer pruža mogućnost pravovremenog reagiranja na klimatske katastrofe.

## **2.3. Građa satelita**

### **2.3.1. Materijali**

Budući da se sateliti nalaze u Zemljinoj atmosferi, a ne na kopnu, zahtijevaju ipak malo drugačije materijale. Da bi satelit ostao u orbiti, a ne počeo padati prema Zemlji, mora savladati gravitaciju, a za to on se mora gibati određenom brzinom za koju je poželjno da je satelit što lakši. Materijali koji se koriste slični su kao i kod raketa, odnosno u pravilu svaki objekt koji mora zadovoljiti uvjete težine, a uz to imati i dobra mehanička svojstva, koristi slitine aluminija, titanija te u nekim situacijama slitine nikla [4]. Također koriste se i kompoziti, najčešće karbonska vlakna. Sateliti su izloženi radijaciji u svemiru koja ima negativan učinak na materijal, stoga se biraju materijali koji imaju veću otpornost prema radijaciji.

### 2.3.2. Komponente satelita za promatranje zemlje

Osnova građe satelita je njegova baza, odnosno okvir, na koje će biti postavljeni senzori, kamere i računala. On mora zadovoljavati mehanička svojstva da ne bi došlo do deformacije prilikom kruženja orbitom Zemlje. Na bazu zatim dolaze sve ostale komponente koje služe za prikupljanje, odašiljanje te obrađivanje podataka. Uređaji za prikupljanje podataka su posebni radari koji omogućuju stvaranje slike Zemlje pomoći mikrovalova bez obzira na dan ili noć te je li oblačno ili sunčano. Uz radare, nalaze se i infracrveni senzori, oni prate toplinsko zračenje koja se emitira sa Zemlje. Pružaju razne podatke vezane za temperaturu, prate morske mijene, oceanske struje koje su od iznimne važnosti za meteorologiju. Koristi se i GPS, za navigaciju samoga satelita i pružanja informacija s koje se geografske lokacije dobivaju podaci koji se prikupljaju. Svi podaci koji se prikupljaju moraju se negdje pohranjivati, za to postoje još računala, koja primaju podatke od spomenutih uređaja, obrađuju ih te pomoću sofisticiranih transmitera omogućuju slanje velike količine podataka efikasno te brzo prema stanicama na Zemlji. Navedeni uređaji i instrumenti zahtijevaju konstantan izvor električne energije pa još se nalazi akumulatorska baterija te solarni paneli koji će pretvorbom sunčeve topline u električnu energiju preko fotonaponskih ćelija opskrbljivati uređaje [5].

### 2.4. Lansiranje satelita i kruženje orbitom

Jednom kada je satelit izrađen na kopnu, postavlja se pitanje kako se on u konačnici dovede u svemir. Odgovor je zapravo jednostavniji nego što se čini, koristeći raketu. Sve stvari zapravo koje svemirske agencije trebaju slati u svemir, bilo satelit ili dio za izradu svemirske postaje, šalju se preko raketa [6]. Ali tu dolazi ipak do malo zahtjevnijeg kalkuliranja jer cilj je satelit staviti na točno određenu orbitu kojom će se gibati točno određenom brzinom. To se uspijeva tako da raketa otpusti satelit na točno određenoj visini te pri određenoj brzini, nakon što je satelit otpušten on zadržava gibanje koje je imala raketa. Brzina koju satelit zadrži mora biti precizna jer ako je tangencijalno brzina premala satelit će početi padati prema Zemlji zbog gravitacijske sile, a ako je tangencijalna brzina prevelika počet će se odmicati od orbite prema svemiru. Kako bi satelit kontinuirano kružio Zemljom po određenoj orbiti mora postojati ravnoteža između sile koja tangencijalno pogoni satelit te gravitacijske sile [7].

## 3. REGIONALNI OCEANOGRAFSKI MODELI

### 3.1. Oceani i oceanografija

Kada bi iz svemira pogledali Zemlju, odmah bi mogli zaključiti kako je planet Zemlja dominirana oceanima i morima. Oceani i mora nam pružaju mnoštvo mogućnosti i prednosti koje nam omogućuju suvremeni život. Kako oceani pokrivaju oko 70% Zemljine površine, oni omogućuju izmjenu topline od ekvatora, pa sve do polova Zemlje, regulirajući Zemljinu klimu i meteorološke prilike. Preko 80% transporta dobara transportira se preko oceana i mora, omogućujući ljudima konstantnu opskrbu resursima. Oceani, zbog poslova koji se obavljaju u njima, ima također velik utjecaj na globalnu ekonomiju, pružajući čak preko 350 milijuna poslovnih pozicija diljem cijeloga svijeta [8]. Isto tako oceani i mora pružaju otprilike 10% hrane bilo iz uzgoja ili ribarenjem. Održavanje oceana i mora je od ključne važnosti za čovječanstvo jer zbog navedenih prednosti o njemu ovisi preko tri milijarde ljudi, stoga je od visoke važnosti istraživati oceane kako bi se iz njih mogao izvući maksimalni potencijal uz najmanje onečišćenje okoliša.

Takva istraživanja provodi grana koja se zove oceanografija. Stručno, to je znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem svjetskih mora i oceana [9]. Ona pokriva širok spektar područja, primjerice morski životinjski svijet, ekosustave, valove, količinu planktona u morima i još mnoge druge primjene. Postoji nekoliko tipova podataka kojima se bavi oceanografija, a njihova se podjela prikazuje kao:

- Fizikalna oceanografija
- Morska biogeokemija
- Morska biologija
- Interakcije između oceana i atmosfere

Kod fizikalne oceanografije proučavaju se podaci koji su vezani za fizikalna svojstva i proces svjetskih mora i oceana. To uključuje jako puno parametara koji često ovise jedan o drugome. Neki od primjera su morske i oceanske struje, valovi, cirkulacija oceana i mora, salinitet, temperature, gustoća te mnogi drugi. Morska biogeokemija je grana oceanografije koja se bavi proučavanjem interakcijama između bioloških, geografskih te kemijskih procesa u morskom odnosno oceanskom okolišu. Istražuje cikluse ugljikovih spojeva u morima, cikluse promjena količine željeza, fosfora te

dušika koji su važni za rast populacije fitoplanktona i drugih organizama. Također se proučavaju i područja gdje je niska količina kisika te kako utječe na morski život i još mnoga druga područja. Morska biologija je grana oceanografije i biologije koja ima fokus na proučavanje živućih organizama te njihovim interakcijama sa morskim ekosustavima. Ima vrlo širok raspon primjene, primjerice od mikroskopskih planktona pa sve do velikih sisavaca koji žive u morima. Te na kraju dio oceanografije koji se bavi proučavanjem interakcija između oceana i atmosfere. Proučava izmjenu topline mora i atmosfere, isparavanje mora i oceana, padaline, površinsku temperaturu. Sve te navedene grane pridonose raznim primjenama u meteorologiji i znanosti povećavajući sigurnost ljudi te omogućavajući bolja saznanja o klimi na Zemlji [10].

### 3.2. Općenito o oceanografskim modelima

Tradicionalna oceanografija zasnivala se na istraživačkim krstarenjima, gdje su se prikupljali podaci *In situ* mjerenjima, odnosno mjerenjima fizikalnih veličina u stvarnim uvjetima na mjestu. Znači da su oceanografi dobivali podatke direktno iz oceana koristeći razne pričvršćene na brodovi, bove ili platforme. Uzimali su se razni podaci, primjerice salinitet, temperatura, gustoća puštajući sonde na razne dubine. Tradicionalna oceanografija je doprinijela s vrijednim podacima, no imala je svoja ograničenja. *In situ* mjerenja jako su skupa te zahtijevaju jako puno utrošenog vremena što nije omogućavalo bezbrižno i najkvalitetnije moguće istraživanje, također jako veliko ograničenje bila su područja koja su imala ekstremne uvjete života, primjerice polarno područje ili velike dubine u oceanima. Posljednjih godina to ograničenje se znatno smanjilo uvođenjem oceanografskih modela. Oceanografski modeli su skupovi matematičkih jednadžbi koje opisuju stanje oceana te klimatskog sustava. To su zapravo matematički opisi oceana, koji se predstavljaju kroz trodimenzionalni prikaz koji je u pravilu prikazan u nekom određenom vremenu što dodaje još jednu dimenziju stvarajući ga četverodimenzionalnim. Opisuju fizikalne varijable kao što su na primjer temperatura salinitet, morske struje u odnosu na promjenjive varijable kao što su prostor i vrijeme. Primjer jednog modela bi bio kako imamo tri dimenzije, primjerice neka jedna dimenzija bude geografska dužina, jedna geografska širina te treća dubina, također neka se pretpostavi jedan dan u godini, ako bi uzeli za svaku varijablu jedan podatak i primjerice tražimo temperaturu, dobili bi temperaturu na određenoj geografskoj širini, duljini, dubini na specifičan dan. Matematičke jednadžbe ključni su faktori operativne oceanografije koja se bavi stvaranjem oceanografskih modela. Podaci koji se koriste za stvaranje oceanografskih modela dobivaju se kombinacijom *In situ* mjerenja te podacima dobivenih korištenjem satelita što je pružilo cijeli spektar novih podataka. Budući da su to skupovi

kompleksnih jednadžbi, u pravilu su za simuliranje oceana odnosno stvaranje oceanografskih modela potrebna superračunala [11].

### 3.2.1. Stvaranje oceanografskih modela

Kao što je već spomenuto u numeričkim ili oceanografskim modelima, matematičke jednadžbe igraju ključnu ulogu u opisu složenih kretanja fluida kao što su voda ili zrak po Zemljinoj površini, prikazivanju biogeokemijskih procesa i oceanskih ledenjaka. Prije početka simulacije potrebno je matematičkim jednadžbama pridodati parametre poznatima pod nazivom rubni uvjeti. Rubni uvjeti obuhvaćaju promjene koje se događaju sa parametrima kao što su primjerice temperatura, tlak ili promjena brzine vjetera koje značajno utječu na ponašanje modela. Da bi izrada oceanografskog modela bila precizna uz rubne uvjete moraju se postaviti i početni uvjeti. Početni uvjeti su parametri kao primjerice površinska temperatura, nadmorska visina, dubina, koncentracija leda jako bitni kako bi simulacija bila što točnija. Ti podaci nisu pretpostavljeni već su dobiveni mjerenjima u stvarnom vremenu odnosno *In situ* mjerenjima te satelitskim mjerenjima. Procesuiranje tako složenih jednadžbi zahtijeva iznimnu računalnu snagu, stoga su superračunala opremljena najsvremenijom tehnologijom omogućuju da izvršenje tih simulacija bude brzo, točno i efikasno. Rješavanjem jednadžbi, uvođenjem rubnih uvjeta i početnih uvjeta dobivaju se napredni modeli koji omogućuju znanstvenicima da dobiju širu sliku o dinamičkim promjenama oceana te njihovih interakcija sa atmosferom i kopnom.

### 3.2.2. Primjena oceanografskih modela

Oceanografski numerički modeli uvelike su promijenili način na koji se proučavaju oceani te procesi vezani uz njih primjerice klima, stoga je njihova primjena u svakodnevici jako široka. Najznačajnija primjena je u meteorologiji.

#### 3.2.2.1. Istraživanje klime i klimatskih promjena

Oceanografski modeli su ključni instrumenti u istraživanju klime i klimatskih promjena budući da oceani imaju značajan utjecaj na njih. Ovi modeli omogućuju znanstvenicima da proučavaju utjecaj morskih struja, temperature te saliniteta na klimatske modele kao što su primjerice modeli pod nazivima *El Niño* i *La Niña*.

#### *3.2.2.2. Proučavanje morskih i oceanskih ekosustava*

Razumijevanje kompliciranih interakcija između fizikalnih procesa oceana te morskog ekosustava od iznimne je važnosti kako bi se omogućio održiv ribolov te naponi za održavanje zdravog podmorja. Znanstvenici se oslanjaju na kombinaciju bioloških i ekoloških podataka kako bi mogli procijeniti raspodjelu i količinu morskih vrsta kao što su fitoplanktoni, ribe ili morski sisavci. Te informacije nude uvid u zdravlje i dinamiku morskih ekosustava koji omogućuju donošenje pravovremenih odluka za odgovorno održavanje podmorja.

#### *3.2.2.3. Obalno i „offshore“ inženjerstvo*

Obalna te oceanska područja podložna su raznim prirodnim nepogodama. Oluje, tsunamiji ili čak morska erozija česte su pojave na obalnim područjima, stoga se konstrukcije i život u tim područjima moraju tome prilagoditi. Oceanografski modeli simuliraju takve vremenske nepogode, te se konstrukcije i građevine mogu dizajnirati sa većom otpornošću na nepogode pružajući znatno veću sigurnost ljudima koji tamo prebivaju. Isto vrijedi i za morske platforme za crpljenje nafte.

#### *3.2.2.4. Traganje i spašavanje na moru*

Nerijetko se događa da se u morima i oceanima za vrijeme nevremena dogode akcije traganja i spašavanja za neki brod ili osobu. Oceanografski modeli tu igraju veliku ulogu pružajući informacije o usmjerenju struja ili brzini vjetera, to pomaže spasiocima u aproksimaciji lokacije objekta ili pojedinca u odnosu na zadnju poznatu lokaciju također omogućuju pravovremeno planiranje načina spašavanja.

#### *3.2.2.5. Procjena zagađenja okoliša i odziv na neplanirane događaje*

Prije početka velikih projekata na obali ili oceanima, oceanografski modeli koriste se za procjenu utjecaja na okoliš. Omogućuju donošenje odluka koje, ukoliko bi projekti bili štetni za okoliš, mogu dovesti do obustavljanja projekta. Nije se jednom dogodilo da se dogodi slučajni nepoželjni događaj kao što je primjerice istjecanje nafte u oceane. Oceanografski modeli također mogu služiti za simuliranje kretnje i disperzije zagađenja, pružajući informacije koje su korisne za umanjivanje ili idealnije uklanjanje zagađenja oceana.

### 3.2.2.6. Prilagođavanje klimatskim promjenama

S obzirom na trenutne klimatske promjene koje se događaju na Zemlji, oceanografski modeli se sve više koriste primjerice za procjenu potencijalnih utjecaja porasta razine mora, povećanju kiselosti oceana ili smanjenje količine leda na Zemlji te drugih promjena vezanih za klimu. Te informacije pomažu zakonodavcima u donošenju strategija i zakona za prilagodbu na klimatske promjene.

## 3.3. Nemo oceanografski model

Shvaćanje kompleksnosti oceanskih procesa te njegovih interakcija sa okruženjem iznimno je zahtjevan posao. Kako bi se uspješno mogle proučavati te interakcije i procesi, znanstvenici se pouzdaju u sofisticirane numeričke modele sposobnih u izradi simulacija oceanskih fizikalnih, biogeokemijskih te ekoloških procesa. Jedan od tih numeričkih modela je i NEMO oceanografski model. NEMO (engl. *Nucleus for European Modelling of the Ocean*) najsvremeniji je europski oceanografski model. NEMO model je projekt otvorenog koda (engl. *Open-source*) što znači da ga bilo tko može koristiti te sudjelovati u daljnjem razvoju modela. Uz zajednicu korisnika NEMO modela, u njegovom razvoju veliku ulogu ima i Europski konzorcij, sa ciljem osiguravanja dugoročne pouzdanosti te održivosti projekta. NEMO, svoje početke povlači još iz 2008. godine kada je cilj bio rješavanje jednadžbi vezane za kretanje oceana, no s vremenom NEMO model je puno napredovao te su se dodavala proširenja koja su omogućavala razna modeliranja, pa se isto tako može reći da je NEMO postao osnova za oceanografsko modeliranje, a ne samo oceanografski model [12].

### 3.3.1 Komponente Nemo modela

NEMO model, sastoji se od tri glavne komponente, gdje svaka komponenta ima svoju ulogu:

#### 1. NEMO-OCE

Osnovna komponenta NEMO strukture koja se bazira na simulacijama fizikalnih procesa oceana, odnosno nastoji simulirati dinamičke i termodinamičke procese vode oceana. Bazira se na rješavanju primitivnih „Navier-Stokes“ jednadžbi čija rješenja omogućuju trodimenzionalnu simulaciju kretanje vode, njezine temperature, saliniteta, brzine za razumijevanje cirkulacije oceana, izmjene topline i interakcije s atmosferom. OCE model ima široku primjenu u klimatskim istraživanjima, oceanografiji te prognozama vremena [13].



## 2. NEMO-ICE

ICE je dodatna komponenta koja služi kao poveznica dinamičkih i termodinamičkih procesa ledenjaka u oceanima sa NEMO-OCE modelom. Led, koji se nalazi u oceanima, ključna komponenta Zemljinog klimatskog sustava te njegova interakcija s oceanom igra veliku ulogu u klimatskim promjenama, stoga se morao stvoriti model koji će uspješno omogućiti proučavanje i praćenje ledenjaka u oceanima. NEMO-ICE model omogućuje simulaciju stvaranja leda, topljenja, njegove kretanje kroz ocean pružajući uvid u interakciju leda sa oceanskim strujama te svojstvima oceana. ICE komponenta vrlo je bitna jer omogućavana proučavanja polarnih područja te utjecaj klimatskih promjena na količinu leda [14].

## 3. NEMO-TOP-PISCES

TOP-PISCES komponenta poveznica je OCE modela sa biogeokemijskim procesima te s morskim ekosustavima. TOP (*engl. Tracers in the Ocean Paradigm*) je sučelje koji omogućava implementiranje raznih biogeokemijskih modela primjerice PISCES model. PISCES (*engl. Pelagic Interactions Scheme for Carbon and Ecosystem Studies*) je biogeokemijski model koji se upotrebljava kako bi se mogli simulirati oceanski ekosustavi te ciklusi ugljika u oceanima [15].

Osim te tri glavne komponente budući da je NEMO projekt otvorenog koda diljem Europe konstanto se razvijaju i implementiraju novi modeli koji djeluju na globalnoj ili regionalnoj razini.

## 4. COPERNICUS MARINE SERVIS

### 4.1. Općenito o copernicus marine servisu

Copernicus Program je projekt Europske Unije koji služi za promatranje Zemlje te pružanju podataka korisnih za donošenje odluka i zakona kako bi se zaštitio okoliš. Jedna od grana Copernicus Programa je i Copernicus Marine servis čija je uloga pružati podatke dobivenih raznim mjerenjima kako bi se mogli dalje koristiti za razne primjene. Copernicus Marine servis specifično je vezan za mora i oceane. Puni naziv je Copernicus Marine Service Ocean Monitoring and Forecasting (kr. CMEMS). Sam servis nudi uslugu pristupa besplatnim, stalnim i autoritativnim informacijama koje opisuju stanje mora i oceana na globalnim ili regionalnim razinama. Cijeli je projekt u potpunosti financiran od strane Europske Komisije, a njegovom razvitku doprinose sve članice Europske Unije te razna druga partnerstva kao što je primjerice Europska svemirska agencija (ESA) ili Europska organizacija za korištenje meteoroloških satelita. Dostupni podaci omogućuju znanstvenicima i donositeljima zakona da prate stanje i promjene u oceanima, morima te priobalnim područjima Europe kako bi se pravovremeno donosile odluke za poboljšanje održivosti i zdravlje okoliša.

### 4.2. Uloga copernicus marine servisa

Današnji život na Zemlji okarakteriziran je sa postupnim promjenama klime i raznih procesa u okolišu uzrokovanih prenaseljenosti stanovništva i masovnom potrošnjom i iscrpljivanjem prirodnih resursa. U cilju nastojanja usporavanja ili idealno sprječavanja još većih i potencijalno katastrofalnih klimatskih promjena, primjenjuje se Copernicus program za uvid o zdravlju i trenutnome stanju Zemlje. Copernicus program temelji se na pružanju četiri osnovne usluge [16]:

1. Promatranje okoliša
2. Prikupljanje podataka (*in situ* mjerenjima, satelitskim snimkama i mjerenjima ili pomoću numeričkih modela)
3. Spremanjem podataka i njihovim analiziranjem
4. Nuditi proizvode koji omogućuju donošenje efektivnijih odluka

Primjena Copernicus Marine servisa je jako velika, jer omogućuje praćenje najbitnijih procesa u oceanima, od velikog utjecaja u određivanju prognoze vremena, praćenju akvakulture sve do pružanja

optimizacije transportnih plovila. Gotovo svaka članica Europske Unije imala je korist od korištenja Copernicus Marine servisa.

### **4.3. Sentinel sateliti**

Ključnu komponentu Copernicus Programa predstavljaju Sentinel sateliti, konstruirani kako bi osigurali kontinuirano praćenje Zemljine površine, atmosfere i oceana. Lansirani i upravljani od strane Europske svemirske agencije ovi sateliti predstavljaju najmoderniju platformu za daljinsko upravljanje sa naprednim senzorima i drugim instrumentima. Program posjeduje flotu različitih Sentinel satelita, svaki napravljen kako bi zadovoljavao pojedini aspekt promatranja Zemlje. Sentinel sateliti kruže Zemljom u različitim orbitama, primarno u području niske orbite Zemlje (engl. *Low Earth Orbit, LEO*). Kako su Sentinel sateliti opremljeni najsuvremenijom tehnologijom, svi podaci promatranja Zemlje iz svemira jako su visoke kvalitete. Ti podaci Copernicus Marine-u su od ogromne vrijednosti, budući da daju bitne, u stvarnome vremenu podatke koji znatno poboljšavaju preciznost i opseg oceanografskih modela [17].

Za Copernicus Marine servis najveću ulogu imaju sateliti Sentinel-1 serije (Slika 4.3.1) i Sentinel-3 serije (Slika 4.3.2). Sentinel-1 serija koji pomoću naprednog radara sa sintetičkom aparaturom (SAR) nudi pokrivenost bez obzira na vremenske uvjete i je li dan ili noć. Podaci dobiveni pomoću Sentinel-1 satelita značajno pomažu u praćenju dinamike oceana i poboljšanju sigurnosti na moru i odazivu na katastrofe. Uz Sentinel-1 Copernicus Marine koriste se i sateliti Sentinel-3 serije, koji su više usmjereni prema oceanima i morima. Sentinel-3 posjeduju uređaje za praćenje oceana, kao što su radiometar za temperature mora i kopna (SLSTR), OLCI spektrometar (engl. Ocean and Land Colour Instrument) koji mjeri intenzitet elektromagnetskog zračenja i radarski altimeter sa sintetičkom aparaturom (engl. Synthetic Aperture Radar Altimeter, SRAL). SLSTR i OLCI senzori značajno povećavaju preciznost mjerenja temperature površine mora, boje oceana, koncentracije klorofila, te pomažu u proučavanju oceanskih ekosustava, cvjetanja algi i mjerenju kvalitete vode.



*Slika 4.3.1. Satelit Sentinel-1 serije[27]*



*Slika 4.3.2. Satelit Sentinel-3 serije [28]*

#### **4.4. Varijable**

Copernicus Marine Servis pruža poprilično veliku količinu podataka, numeričkih modela i informacija koje se zasnivaju na analiziranju različitih morskih varijabli. Te varijable dijele se u tri kategorije:

1. Plavi ocean
2. Zeleni ocean
3. Bijeli ocean

#### 4.4.1. Plavi ocean

Ove varijable služi za promatranje fizikalnih svojstava oceana i mora te omogućuje bolje shvaćanje mehanizma i dinamike oceana. Stanje oceana u bilo kojem trenutku je opisano sa trodimenzionalnom distribucijom temperature, saliniteta, morskih struja, tlaka i gustoćom. Takav opis oceana ostvaren je koristeći numeričke modele za oceansku cirkulaciju koji se zasnivaju na jednadžbama mehanike fluida. Iskorištavanjem potencijala kombinacije satelitskih mjerenja i *in situ* mjerenja omogućuje se praćenje trendova oceana, odnosno njegovih promjena i shvaćanja rizika koji tim promjenama nastaju. Glavne fizikalne varijable koje Copernicus Marine mjeri su temperatura oceana, izmjena topline oceana, brzine vjetrova, salinitet, morske struje, visine valova i slojeve oceana na kojima zbog pritiska i temperature dolazi do promjena svojstava oceana [18].

#### 4.4.2. Zeleni ocean

Zeleni ocean, opisuje biogeokemijske procese u oceanu te njihov utjecaj na okoliš i ljude. Sam ocean je zapravo jedan veliki izvor resursa, bilo za ljude ili za oceanske ekosustave. Čak 10% svjetske populacije je prihranjeno konzumacijom ribljih proteina, također velik utjecaj imaju i morske alge. Osim toga, velik broj ljudske populacije nastanjeno je na priobalnim krajevima te su izloženi velikoj ovisnosti o oceanima i morima, ne samo oni već životi više od tri milijarde ljudi na Zemlji ovise o bioraznolikosti mora i oceana. No, mnogo resursa koje pružaju oceani i mora stavljani polako postaju ugroženi. Razlozi tome su klimatske promjene, koje znatno utječu na podizanje temperature oceana i mora. Uz podizanje temperature mora postoje još dva razloga, povećanje kiselosti mora i oceana te naravno utjecaj ljudi (prekomjerni izlov, zagađenje mora plastikom, smanjenje kisika u moru). Najbitnije varijable koje spadaju pod „Zeleni ocean“ su koncentracije klorofila, oceanskih nutrijenata, kisika, ugljika i drugih. Ove varijable služe za nastajanje poboljšanja održivosti oceana i oceanskih ekosustava [19].

#### 4.4.3. Bijeli ocean

Varijable „Bijelog oceana“ podrazumijeva „životni ciklus“ bilo kakvog leda koji pluta po površini oceana polarnim područjima. Pod polarna područja podrazumijevaju se Arktička, Antarktička i Baltička oceanska područja. Copernicus Marine servise pruža podatke o ledu na oceanima dobivenih satelitskim podacima čak 1979. godine te koristeći modele kombinacije oceana i leda još iz 1993. godine. Zaključeno je da se koncentracija leda drastično smanjuje čak brzinom od  $750,000 \text{ km}^2$  po

desetljeću. Smanjenje koncentracije leda na Zemlji također je jedan od dokaza klimatskih promjena koje se događaju na Zemlji, stoga je vrlo važno pratiti promjene u količini i koncentraciji leda. Najbitnija varijabla „Bijelog oceana“ je debljina sloja ledene površina, jer ona je najosjetljivija na klimatske promjene. Uz debljinu sloja leda bitna je varijabla brzina leda na oceanima jer se kreću zbog vjetrova ispod površine ili zbog morskih struja i površinska temperatura leda jer se na temelju toga vrši mjerenje izmjene topline u polarnim područjima. Uz zaleđene površine oceana promatraju se i količina ledenjaka u oceanima pogotovo u području Grenlanda. Zbog globalnog zatopljenja dolazi do češćeg odrona leda sa obalnog područja, pa se nadalje kreću pod utjecajem vjetra i morskih struja narušavajući pomorsku sigurnost u polarnim područjima [20].

#### **4.5. Pristup podacima copernicus marine servisa**

Copernicus Marine servis nudi krajnjem korisniku pristup gotovo svim podacima potpuno besplatno. Većina podataka Copernicus Marine servisa spremaju se prema NetCDF-3 ili NetCDF-4 standardu koji omogućuju pohranjivanje podataka koji sadrže više varijabli odnosno višedimenzionalnih podataka.. Nakon uspješne registracije i odabira područja te promatrane varijable treba se odabrati mehanizam pristupa podataka. Copernicus Marine servis nudi nekoliko mehanizama pristupa podacima [21]:

1. MOTU API
2. OPeNDAP
3. ERDDAP
4. FTP (engl. *File Transfer Protocol*)
5. WMS

Svaki od mehanizama ima svoje prednosti i mane, neki su ograničeni sa mogućnosti manipuliranja podacima, dok su neki ograničeni sa maksimalnom veličinom podataka. Opis mogućnosti i ograničenja nalazi se u priloženoj tablici 4.5.1 [21].

Tablica 4.5.1 Mogućnosti i ograničenja mehanizama pristupa podacima

	MOTU	OPeNDAP	ERDDAP	Raw podaci	Karte
HTTPs protokol	✓	✓	✓	✗	✓
FTP protokol	✗	✗	✗	✓	✗
Ograničenje veličine podataka	1048 MB	1500 MB	Neograničeno	Neograničeno	Neograničeno
Format datoteke	NetCDF	NetCDF, GeoTIFF, JPEG2000, JSON, ASCII	CSV, NetCDF, KML, JSON, geoJSON	NetCDF, GeoTIFF	KML, PNG, TXT
Odabir varijable	✓	✓	✓	✗	✓
Ograničenje domena podataka	✓	✓	✓	✓	✓
Odabir geospacijalne pokrivenosti	✓	✓	✓	✗	✓
Grafičko sučelje	✓	✓	✓	✓	✓
Programski klijent	✓	✓	✓	✓	✓

Za potrebe ovog rada, budući da se radila manipulacija podacima koristeći Python programski jezik, koristio se OPeNDAP mehanizam pristupa podacima. OPeNDAP (engl. *Open-source Project for Network Data Access Protocol*) je jedan od glavnih pristupnih krajnjih točaka koji omogućuje korisnicima pristup na daljinu bilo kojim podacima u oblicima koji su im potrebni s obzirom za koju primjenu se koriste, u slučaju ovog rada podacima prema NetCDF-4 standardu.



## 5. ANALIZA PODATAKA POMOĆU PYTHON-A

Cilj ovog završnog rada bila je analiza podataka Copernicus Marine servisa kroz određeni period vremena. Proizvod koji je korišten je MEDSEA\_ANALYSISFORECAST\_PHY\_006\_013, a korišten je za analizu i prognoziranje fizikalnih komponenti Mediteranskoga mora. Od nekoliko varijabli koje ovaj proizvod sadrži, odabrana je temperatura kao središte razmatranja. Varijabla temperature ovisi četiri parametara na temelju kojih se mijenja, vremenski period koji označava dan u kojem se temperatura mjeri, geografsku širinu i dužinu koje određuju geografsku poziciju te dubinu koja prikazuje dubinu u moru na kojoj se određuje temperatura.

### 5.1. Domene analize podataka

Budući da se radi o iznimno velikoj količini podataka, potrebno je ograničiti područje promatranja sva četiri parametara, kako bi se skratilo vrijeme određivanja temperatura. U ovom završnom radu analiza će se posvetiti području Jadranskog mora, stoga su odabrane domene iduće:

1. Vremenski period, ograničen na specifičan dan mjerenja
2. Geografska širina ograničila se na prostor između  $40,5^\circ$  i  $45,85^\circ$
3. Geografska dužina ograničena na prostor između  $11^\circ$  i  $21^\circ$
4. Dubina ograničena do najveće dubine od 100m

### 5.2. Opis koda u python-u

Postoje razne biblioteke modula i funkcija koje omogućuju detaljniju i kvalitetniju analizu Copernicus Marine podataka te uvelike pojednostavljaju manipulaciju njima.

Kod započinje s unosom biblioteka, biblioteke koje su unesene *matplotlib.pyplot*, *numpy*, *xarray*, *pydap* i *scipy.interpolate*. Zatim je potrebna autorizacija i povezivanje sa Copernicus Marine servisom kako bi se omogućio pristup podacima. Kao što je već spomenuto, odabrani skup podataka je MEDSEA\_ANALYSISFORECAST\_PHY\_006\_013 [22]. Nakon što se uspješno pristupilo podacima, korisnik odabire dan na koji će se ostvariti vizualizacija podataka. Vizualizacija podataka moguća je zbog funkcije *.plot()*. Nadalje, slijedi određivanje minimuma, funkcijom *numpy.min()*, maksimuma, funkcijom *numpy.max()* te aritmetičke sredine funkcijom *numpy.mean()*. Pomoću

trostruke *for* petlje, prolazeći kroz sve dubine, geografske širine i geografske dužine stvaraju se dva niza, jedan pod nazivom „*points*“ koji sadrži sve koordinate u obliku (dubina, geografska širina, geografska dužina) te drugi niz „*values*“ koji za svaku koordinatu u nizu „*points*“ posjeduje vrijednost temperature. Na kraju, korisniku se omogućuje izračun temperature, unosom proizvoljnih koordinata, geografske širine, geografske dužine te dubine, interpolacijom. Linearna interpolacija izvršava se pomoću funkcije *griddata* iz biblioteke *scipy.interpolate*, unosom niza „*points*“, „*values*“ te proizvoljnih koordinata korisnika. Popis svih biblioteka i funkcija korištenih u ovom završnom radu nalaze se u tablici 5.2.1.

Tablica 5.2.1 Popis i objašnjenje korištenih funkcija i biblioteka

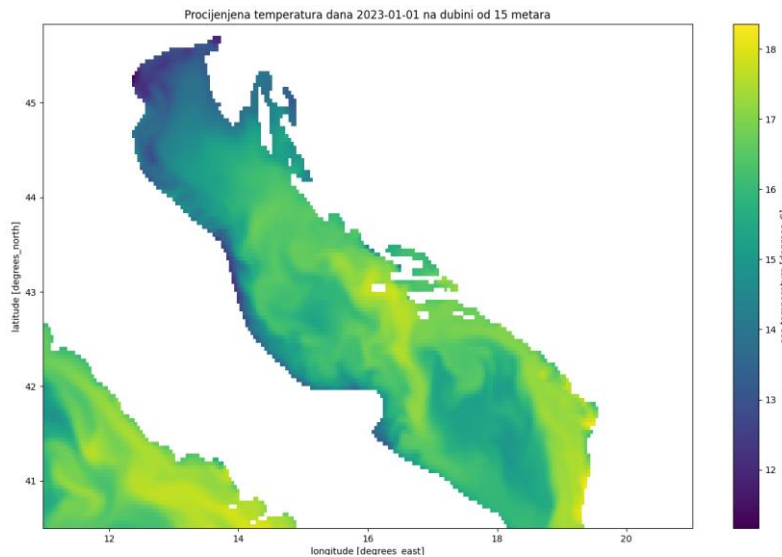
<b>Funkcije i biblioteke</b>	<b>Opis</b>
<b>Matplotlib biblioteka</b>	Sadrži niz funkcija koje omogućuju izradu i uređivanje grafova
<b>Numpy biblioteka</b>	Sadrži niz matematičkih funkcija koje pojednostavljaju izračune
<b>Xarray biblioteka</b>	Biblioteka čije funkcije omogućuju manipuliranje višedimenzionalnih skupova podataka
<b>Pydap biblioteka</b>	Skup funkcija koje omogućuju autorizaciju i pristup podacima na internetu
<b>Scipy.interpolate biblioteka</b>	Skup funkcija koje omogućuju razne vrste interpolacija
<b>Matplotlib.pyplot()</b>	Funkcija iz matplotlib biblioteke korištena za stvaranje grafova
<b>Matplotlib.show()</b>	Funkcija iz matplotlib biblioteke zadužena za prikaz grafa
<b>Open_url()</b>	Funkcija iz pydap biblioteke zadužena za pristup Copernicus Marine servisu
<b>Setup_session()</b>	Funkcija iz pydap biblioteke zadužena za autorizaciju podataka korisnika Copernicus Marine servisa
<b>Xarray.open_dataset()</b>	Funkcija iz biblioteke xarray, zadužena za otvaranje i daljnje manipuliranje skupa podataka
<b>Griddata()</b>	Funkcija iz biblioteke scipy.interpolate zadužena za interpolaciju proizvoljne točke korisnika

### 5.3. Rezultati analize temperature jadranskog mora

Rezultati prikazuju procijenjene temperature svakog prvog dana mjeseca od siječnja do lipnja pri dubini od 15 metara. Vizualizacija podataka odnosi se na cijelo područje Jadranskoga mora, dok se interpolacija procijenjene temperature odnosi na specifičnu točku geografske širine od  $44,73^\circ$ , geografske dužine do  $14,27^\circ$  te dubine od 20 metara. Također, određuje se maksimalna, minimalna te prosječna vrijednost temperature za područje Jadranskog mora.

#### 5.3.1. Rezultati 1.1.2023.

U nastavku je priložena slika (Slika 5.3.1.) koje prikazuje procijenjene temperature Jadranskog mora pri dubini od 15 metara za dan 1.1.2023.



Slika 5.3.1. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.1.2023.

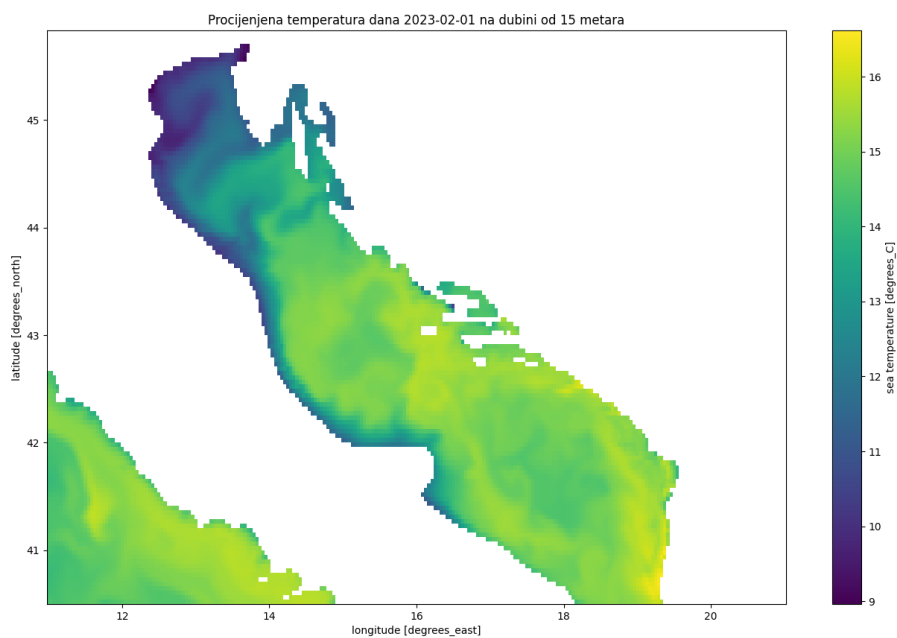
Na taj dan također su izračunate minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti, prikazane u tablici 5.3.1. te interpolirana procijenjena temperatura za geografsku širinu, geografsku duljinu te dubinu spomenutu ranije. Interpolirana temperatura iznosi  $14,9211^\circ\text{C}$ .

Tablica 5.3.1. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.1.2023.

Dubina [m]	Minimalna vrijednost temperature [°C]	Maksimalna vrijednost temperature [°C]	Aritmetička sredina temperatura [°C]
15	11,1653	18,3549	16,0088

### 5.3.2. Rezultati 1.2.2023.

U nastavku je priložena slika (Slika 5.3.2.) koje prikazuje procijenjene temperature Jadranskog mora pri dubini od 15 metara za dan 1.2.2023.



Slika 5.3.2. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.2.2023.

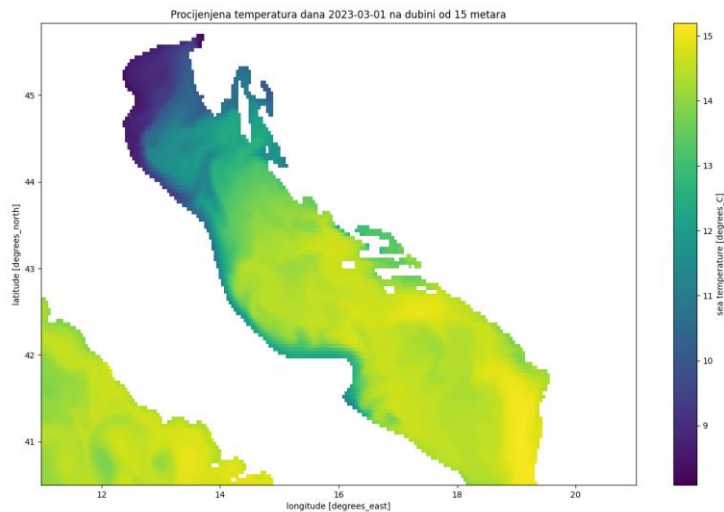
Na taj dan također su izračunate minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti, prikazane u tablici 5.3.2. te interpolirana procijenjena temperatura za geografsku širinu, geografsku duljinu te dubinu spomenutu ranije. Interpolirana temperatura iznosi 13,2363°C.

Tablica 5.3.2. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.2.2023.

Dubina [m]	Minimalna vrijednost temperature [°C]	Maksimalna vrijednost temperature [°C]	Aritmetička sredina temperatura [°C]
15	8,9632	16,6171	14,4047

### 5.3.3. Rezultati 1.3.2023.

U nastavku je priložena slika (Slika 5.3.3.) koje prikazuje procijenjene temperature Jadranskog mora pri dubini od 15 metara za dan 1.3.2023.



Slika 5.3.3 Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.3.2023.

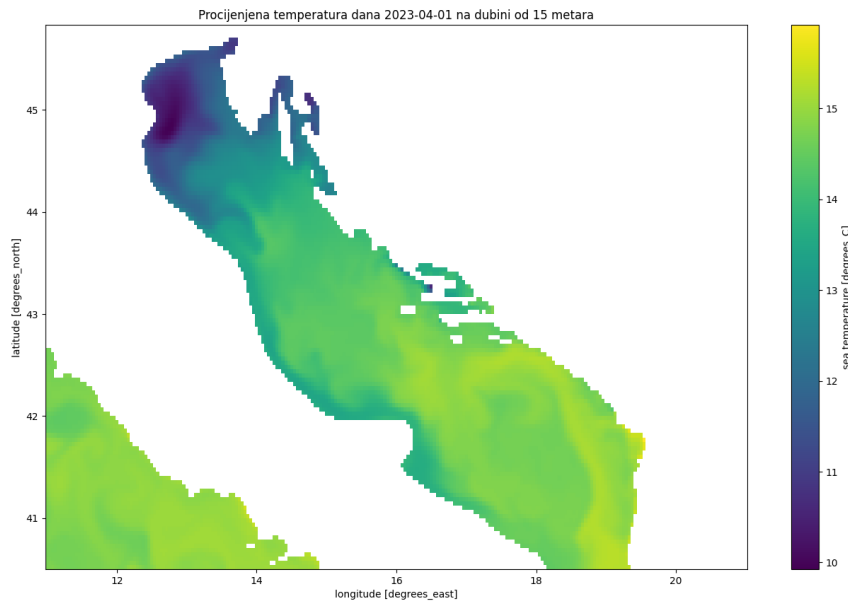
Na taj dan također su izračunate minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti, prikazane u tablici 5.3.3. te interpolirana procijenjena temperatura za geografsku širinu, geografsku duljinu te dubinu spomenutu ranije. Interpolirana temperatura iznosi 11,9676°C.

Tablica 5.3.3. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.3.2023.

Dubina [m]	Minimalna vrijednost temperature [°C]	Maksimalna vrijednost temperature [°C]	Aritmetička sredina temperatura [°C]
15	8,0849	15,1952	13,6389

#### 5.3.4. Rezultati 1.4.2023.

U nastavku je priložena slika (Slika 5.3.4.) koje prikazuje procijenjene temperature Jadranskog mora pri dubini od 15 metara za dan 1.4.2023.



Slika 5.3.4. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.4.2023.

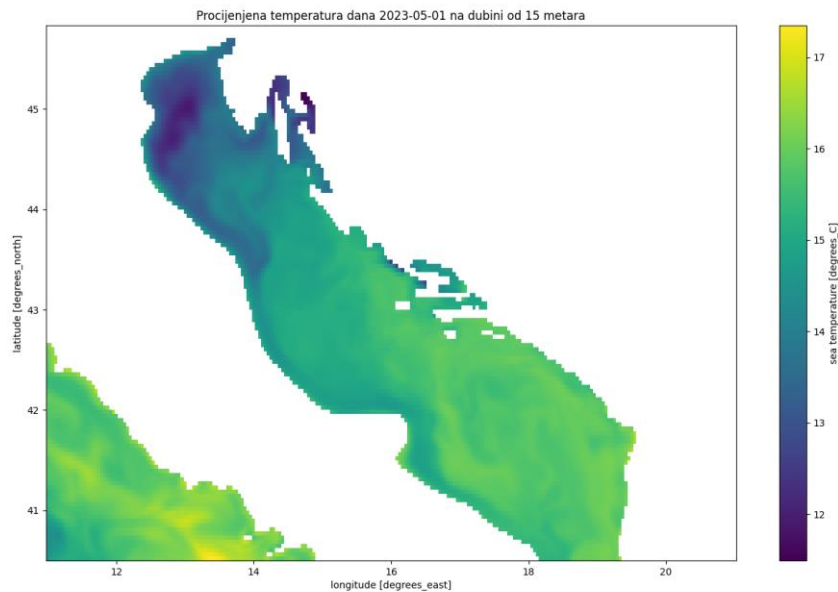
Na taj dan također su izračunate minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti, prikazane u tablici 5.3.4. te interpolirana procijenjena temperatura za geografsku širinu, geografsku duljinu te dubinu spomenutu ranije. Interpolirana temperatura iznosi 12,1968°C.

Tablica 5.3.4. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.4.2023.

Dubina [m]	Minimalna vrijednost temperature [°C]	Maksimalna vrijednost temperature [°C]	Aritmetička sredina temperatura [°C]
15	9,9257	15,9209	14,1599

### 5.3.5 Rezultati 1.5.2023.

U nastavku je priložena slika (Slika 5.3.5.) koje prikazuje procijenjene temperature Jadranskog mora pri dubini od 15 metara za dan 1.5.2023.



Slika 5.3.5. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.5.2023.

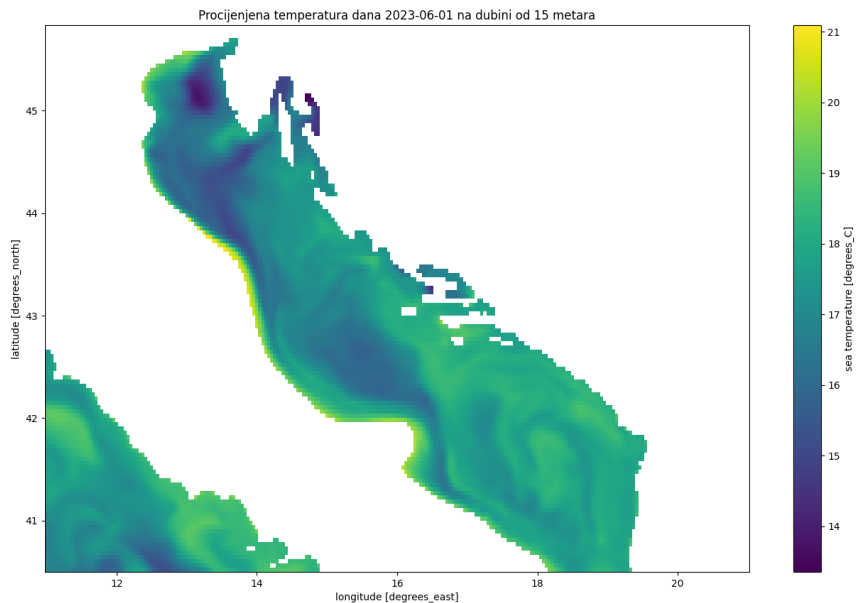
Na taj dan također su izračunate minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti, prikazane u tablici 5.3.5. te interpolirana procijenjena temperatura za geografsku širinu, geografsku duljinu te dubinu spomenutu ranije. Interpolirana temperatura iznosi 13,4914°C.

Tablica 5.3.5. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.5.2023.

Dubina [m]	Minimalna vrijednost temperature [°C]	Maksimalna vrijednost temperature [°C]	Aritmetička sredina temperatura [°C]
15	11,4944	17,3478	15,1794

### 5.3.6. Rezultati 1.6.2023.

U nastavku je priložena slika (Slika 5.3.6.) koje prikazuje procijenjene temperature Jadranskog mora pri dubini od 15 metara za dan 1.6.2023.



Slika 5.3.6. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.6.2023.



Na taj dan također su izračunate minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti, prikazane u tablici 5.3.6. te interpolirana procijenjena temperatura za geografsku širinu, geografsku duljinu te dubinu spomenutu ranije. Interpolirana temperatura iznosi 16,5641°C.

Tablica 5.3.6. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.6.2023.

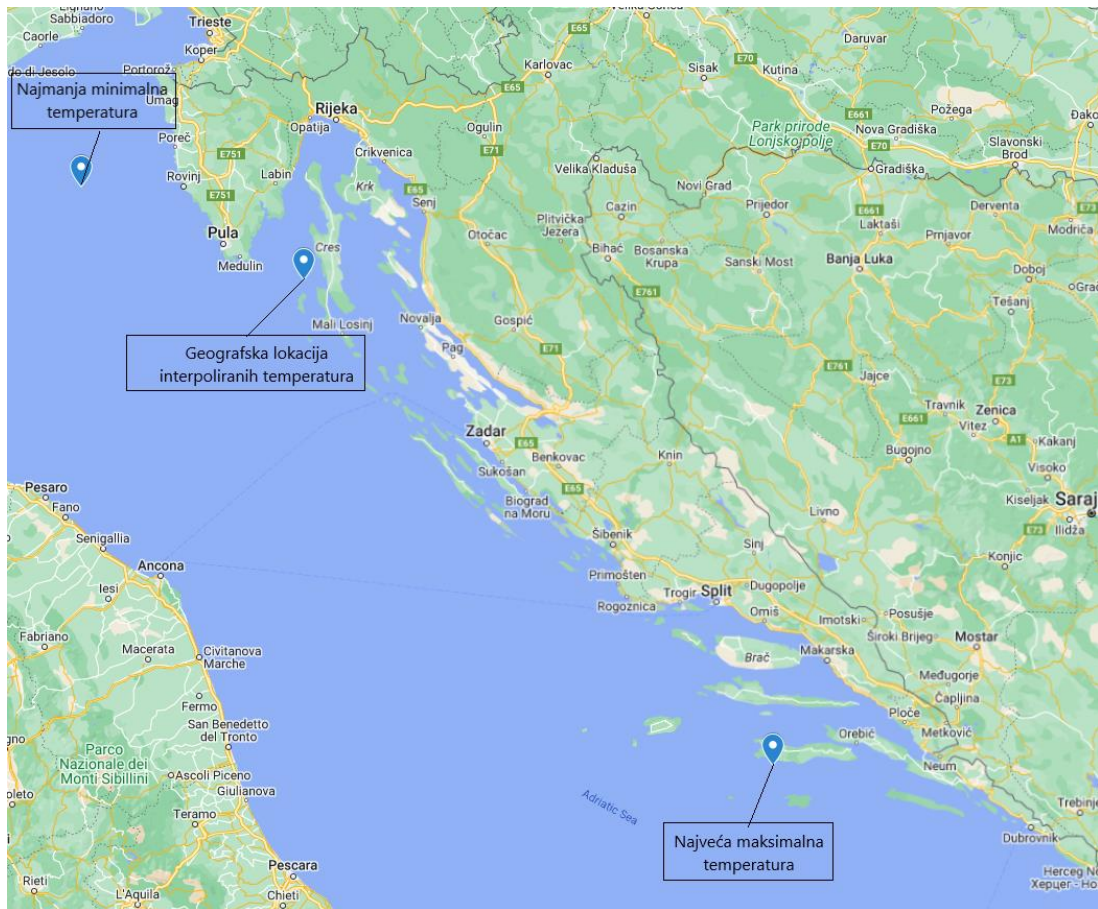
Dubina [m]	Minimalna vrijednost temperature [°C]	Maksimalna vrijednost temperature [°C]	Aritmetička sredina temperatura [°C]
15	13,3551	21,0952	17,4529

#### 5.4. Analiza rezultata dobivenih podataka

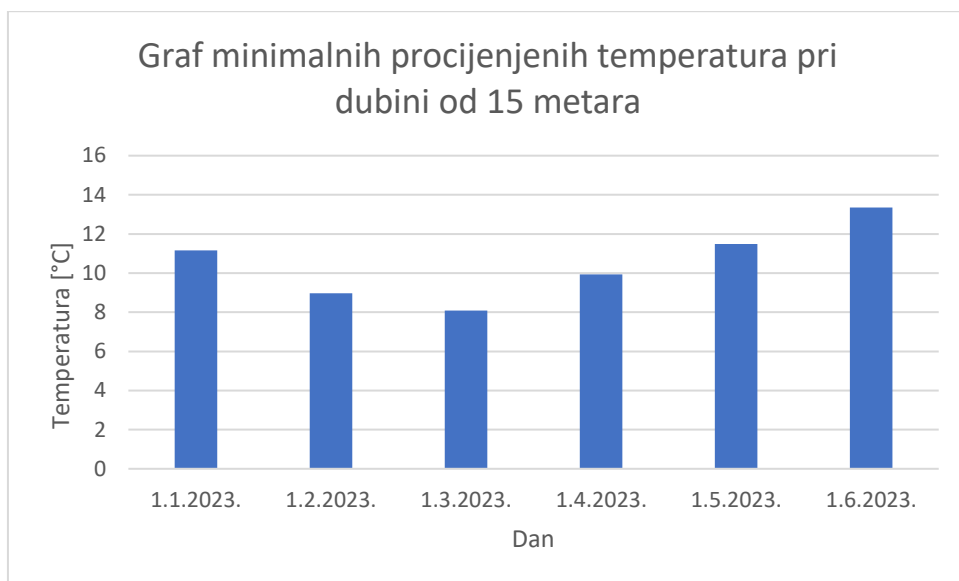
Analiza rezultata odnosi se na uspoređivanje dobivenih minimalnih temperatura, maksimalnih temperatura, aritmetičkih vrijednosti na dubini od 15 metara te usporedba interpoliranih temperatura za zadane koordinate.

U priloženim temperaturama može se zaključiti kako je 1. ožujka, 2023. godine Jadransko more poprimilo najniže temperature, uključujući najnižu minimalnu temperaturu, najnižu maksimalnu temperaturu te najnižu aritmetičku sredinu temperatura za taj dan u odnosu na ostale dane koji se razmatraju u analizi. Najmanja minimalna temperatura od svih dana nalazi se na koordinatama geografske širine 45°04'19" te geografske dužine 13°04'52" (Slika 5.5.1.) što opisuje lokaciju sjevernog Jadrana otprilike na sredini između Istre i Italije. Takav rezultat mogao se otprilike i očekivati, jer je zimi sjeverni dio Jadranskog mora generalno hladniji od južnog, primjer se može vidjeti na termalnim kartama Jadranskog mora u prošlom poglavlju. Uzrok toga je plitkost sjevernog Jadrana, što znači da vanjski utjecaji, u ovom slučaju hladniji zrak brže hladi sjeverni Jadran nego južni. Generalni trend temperatura je pad temperatura mora od 1. siječnja do 1. ožujka, te dalje rast do maksimalnih vrijednosti temperatura u lipnju. Najveća maksimalna vrijednost temperatura izračunata je na dan 1. lipnja 2023. godine, na koordinatama geografske širine 43°53'21" i geografske širine 16°44'39" (Slika 5.5.1.) što se otprilike nalazi u moru pokraj otoka Korčule. Isti trend vrijedi i

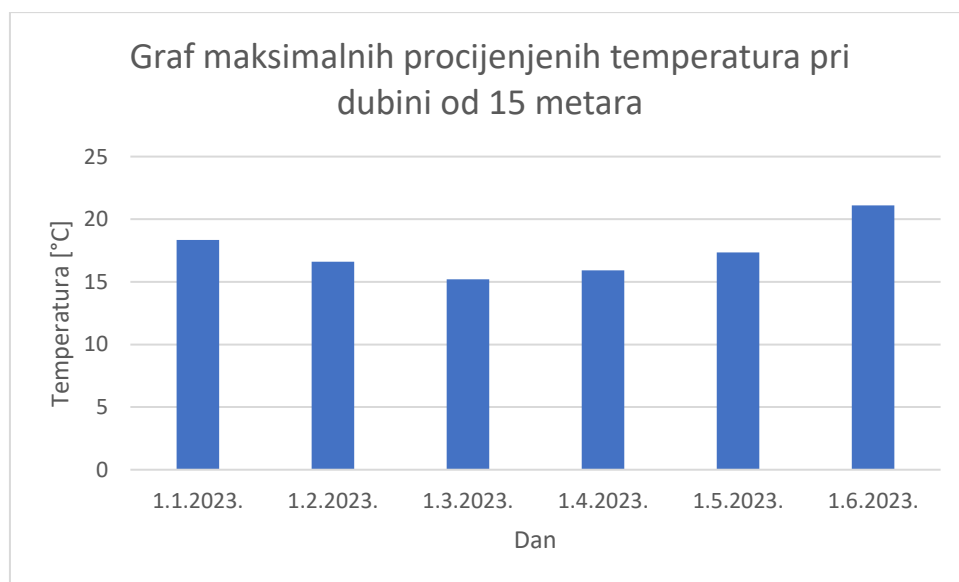
za aritmetičke vrijednosti temperatura Jadranskoga mora, također temperature padaju do 1. ožujka te zatim rastu do 1. lipnja. Sve promjene temperature prikazane su grafički, minimalna (Slika 5.4.2.), maksimalne (5.4.3.), aritmetičke sredine (5.4.4.) i interpoliranih temperatura (Slika 5.4.5.).



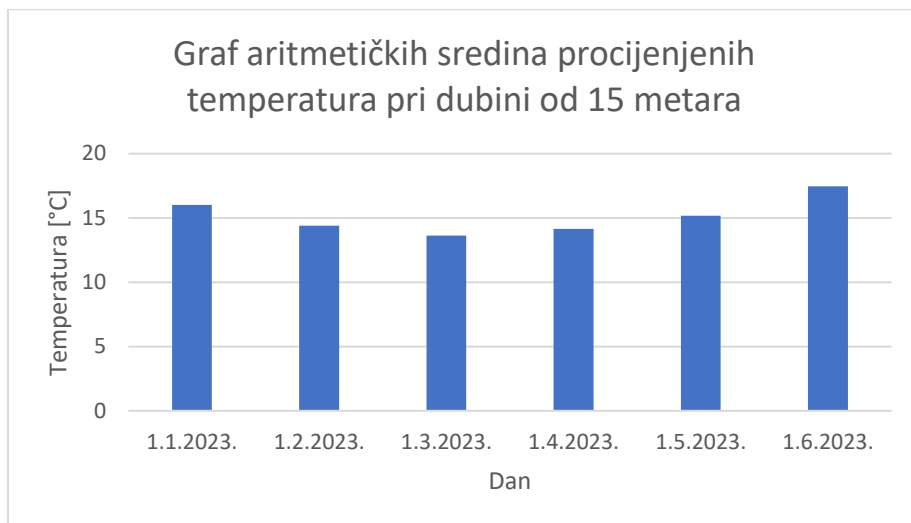
Slika 5.4.1. Geografske lokacije najmanje minimalne temperature, najveće maksimalne temperature te interpoliranih temperatura



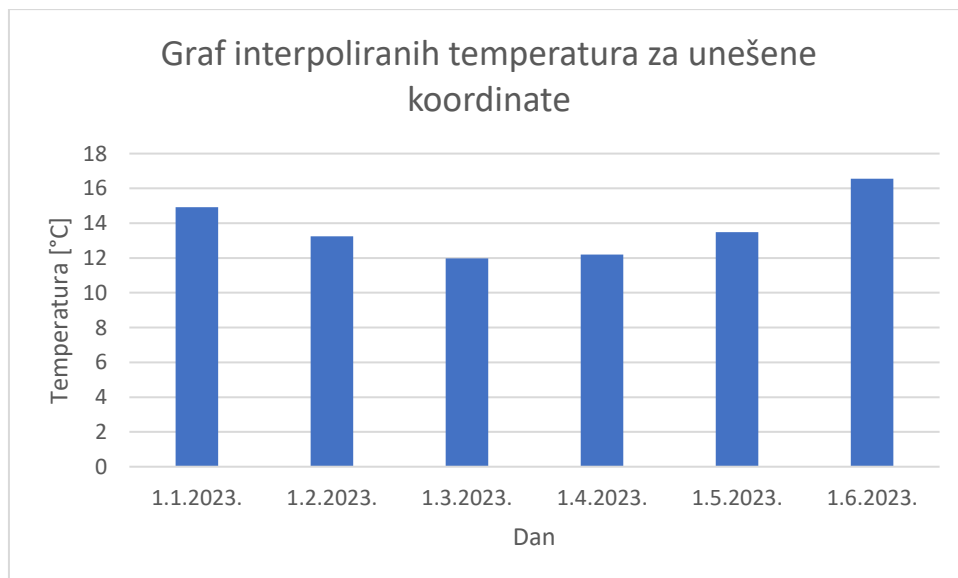
*Slika 5.4.2. Grafički prikaz procijenjenih minimalnih temperatura na dane interesa*



*Slika 5.4.3. Grafički prikaz procijenjenih maksimalnih temperatura na dane interesa*



Slika 5.4.4. Grafički prikaz procijenjenih aritmetičkih sredina temperatura na dane interesa



Slika 5.4.5. Grafički prikaz procijenjenih interpoliranih temperatura na dane interesa

## 6. ZAKLJUČAK

U današnjem, sve kompleksnijem svijetu, gdje postaje sve jasnije da je briga za okoliš prioritet za održivu budućnost, razvoj i primjena suvremenih tehnologija pojavljuju se kao ključni čimbenici u praćenju, analizi i upravljanju izazovima okoliša. Globalne promjene u okolišu postaju sve vidljivije te osjetljivije, stoga prikupljanje podataka, analiziranje te integriranje tih analiziranje u donošenju bitnih zakonodavnih odluka indirektno određuju budućnost čovječanstva. Korištenje satelitskih tehnologija u modeliranju okoliša ima značajan utjecaj na život suvremenog čovjeka, a daljnjim napretkom može ga samo još poboljšati. Satelitske tehnologije imaju velik doprinos razumijevanju dinamike okolišnih promjena, također značajno su povećali ulogu oceanografskog modeliranja, jer *in situ* podaci jednostavno ne bi bili dovoljni. Oceanografski modeli temelj su istraživanja interakcija između različitih elemenata okoliša, od oceana do atmosfere, te su zaslužni da preciznije meteorološke prognoze.

Copernicus Marine servis i njegovi sateliti Sentinel sateliti prati okoliš na globalnoj skali, dajući širu sliku povezanosti čovjeka s okolišem i utjecaja čovjeka na okolišem i obrnuto. Analizom raznih varijabli u oceanima, kao što su plavi, zeleni i bijeli ocean omogućuju dublje razumijevanje kompleksnosti ekosustava i njihovih promjena.

U ovom radu cilj je bio istaknuti ne samo značaj satelitske tehnologije u modeliranju okoliša, već i ključnu ulogu u održivosti suvremenog svijeta te doprinosu temeljnih strategija razvoja koje će čovječanstvo voditi prema održivoj budućnosti za prirodne resurse.

# LITERATURA

- [1] D. Stillman, "What Is a Satellite" , s Interneta, <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-satellite-58.html>, 12. veljača, 2014.
  
- [2] Science Learning Hub, "History of satellites - timeline " , s Interneta, <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1905-history-of-satellites-timeline>, 27. ožujka, 2013.
  
- [3] K. Sergieieva, "Types of satellites", s Interneta, <https://eos.com/blog/types-of-satellites/>, 22. ožujka, 2023.
  
- [4] S. Caldwell, "Structures, Materials, and Mechanisms" , s Interneta, <https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/structures-materials-and-mechanisms>, veljača, 2023.
  
- [5] A. Miller, "What are the components of a satellite?", s Interneta, <https://www.espace.com/article/what-are-the-components-of-a-satellite>, Pristup stranici: 17. lipnja, 2023.
  
- [6] H. Doyle, "How Do We Launch Things Into Space?", s Interneta, <https://spaceplace.nasa.gov/launching-into-space/en/> , 24. kolovoza, 2023.
  
- [7] H. M. Tun, "Implementation of Communication Satellite Orbit Controller Design Using State Space Techniques", 2012.
  
- [8] UNCTAD, "Oceans Economy and Ecosystem services: sustainable fisheries and coastal tourism. Side event to the CBD COP 13", s Interneta <https://unctad.org/meeting/oceans-economy-and-ecosystem-services-sustainable-fisheries-and-coastal-tourism-side-event>, 05. prosinca, 2016.

- [9] Enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=44678>, 2021.
- [10] Julien Le Sommer, Eric P. Chassignet, Alan J. Wallcraft, "Ocean Circulation Modeling for Operational Oceanography: Current status and future challenges", kolovoz, 2018.
- [11] Race-Synthese, "Ocean and climate modelling", s Interneta, <https://race-synthese.de/ocean-and-climate-modelling>. Pristup stranici: 11. lipnja, 2023.
- [12] O. T. Prims, "NEMO: computational challenges in ocean simulation", s Interneta, <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/669877/otp1de1.pdf>, studeni, 2019.
- [13] G. Madec, "NEMO Ocean Engine Reference Manual", [Mrežno]. Available: <https://zenodo.org/record/8167700>, 23. lipnja, 2023.
- [14] Martin Vancoppenolle i drugi, "SI3, the NEMO Sea Ice Engine", s Interneta, <https://zenodo.org/record/7534900> 23. siječnja, 2023.
- [15] Olivier Aumont i drugi, "TOP – Tracers in Ocean Paradigm – The NEMO Tracers engine", s Interneta, <https://zenodo.org/record/1471700>, 18. listopada, 2018.
- [16] Copernicus Marine, s Interneta, <https://marine.copernicus.eu/>, Pristup stranici: 22. srpnja, 2023.
- [17] European Space Agency, "Sentinels", s Interneta, [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Operations/Sentinels](https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Sentinels), Pristup stranici: 22. lipnja, 2023.
- [18] Copernicus Marine, "The Blue Ocean", s Interneta, <https://marine.copernicus.eu/services/the-blue-ocean>. Pristup stranici: 04. kolovoza, 2023.

- [18] Copernicus Marine, "The Green Ocean", s Interneta, <https://marine.copernicus.eu/services/the-green-ocean>. Pristup stranici: 04. kolovoza, 2023.
- [18] Copernicus Marine, "The White Ocean", s Interneta, <https://marine.copernicus.eu/services/the-white-ocean>. Pristup stranici: 04. kolovoza, 2023.
- [21] Copernicus Marine Support, "How to download Copernicus Marine products?", s Interneta, <https://help.marine.copernicus.eu/en/articles/4469993-how-to-download-copernicus-marine-products>, Pristup stranici: 29. svibnja, 2023.
- [22] A.C. Goglio i drugi, "Mediterranean Sea Production Centre", s Interneta, <https://catalogue.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-MED-QUID-006-013.pdf>, 02. rujna, 2022.
- [24] A. Miller, "What are the components of a satellite?", s Interneta, <https://www.espace.com/article/what-are-the-components-of-a-satellite>, Pristup stranici: 23. srpnja, 2023.
- [25] NASA, "Launching into space", s Interneta, <https://spaceplace.nasa.gov/launching-into-space/en>, Pokušaj pristupa 15. srpnja, 2023.
- [26] H. M. Tun, "Implementation of Communication Satellite Orbit Controller Design Using State Space Techniques", s Interneta, [https://www.researchgate.net/publication/235974159\\_Implementation\\_of\\_Communication\\_Satellite\\_Orbit\\_Controller\\_Design\\_Using\\_State\\_Space\\_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/235974159_Implementation_of_Communication_Satellite_Orbit_Controller_Design_Using_State_Space_Techniques), Prosinac 2012.
- [27] European Space Agency, "Sentinel-1", s Interneta, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview>, Pristup stranici: 22. lipnja, 2023.



- [28] European Space Agency, "Sentinel-3", s Interneta, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/overview/mission-summary>, Pristup stranici: 22. lipnja, 2023.
- [29] Wikipedia, „Sputnik 1“, s Interneta, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sputnik\\_1](https://en.wikipedia.org/wiki/Sputnik_1), Pristup stranici: 22. lipnja, 2023.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1.1. Sputnik 1, prvi umjetni satelit .....	2
Slika 4.3.1. Satelit Sentinel-1 serije .....	14
Slika 4.3.2. Satelit Sentinel-3 serije .....	14
Slika 5.3.1. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.1.2023. ....	21
Slika 5.3.2. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.2.2023. ....	22
Slika 5.3.3 Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.3.2023. ....	23
Slika 5.3.4. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.4.2023. ....	24
Slika 5.3.5. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.5.2023. ....	25
Slika 5.3.6. Termalna karta Jadranskog mora na dan 1.6.2023. ....	26
Slika 5.4.1. Geografske lokacije najmanje minimalne temperature, najveće maksimalne temperature te interpoliranih temperatura .....	28
Slika 5.4.2. Grafički prikaz procijenjenih minimalnih temperatura na dane interesa .....	29
Slika 5.4.3. Grafički prikaz procijenjenih maksimalnih temperatura na dane interesa.....	29
Slika 5.4.4. Grafički prikaz procijenjenih aritmetičkih sredina temperatura na dane interesa .....	30
Slika 5.4.5. Grafički prikaz procijenjenih interpoliranih temperatura na dane interesa.....	30

## POPIS TABLICA

Tablica 4.5.1. Mogućnosti i ograničenja mehanizama pristupa podacima.....	17
Tablica 5.2.1. Popis i objašnjenje korištenih funkcija i biblioteka.....	20
Tablica 5.3.1. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.1.2023. .....	22
Tablica 5.3.2. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.2.2023. .....	23
Tablica 5.3.3. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.3.2023. .....	24
Tablica 5.3.4. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.4.2023. .....	25
Tablica 5.3.5. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.5.2023. .....	26
Tablica 5.3.6. Vrijednosti minimalne, maksimalne i aritmetičke sredine temperature na dan 1.6.2023. .....	27

## SAŽETAK

U ovom završnom radu tema je definiranje te primjena satelitskih tehnologija koje se koriste u aspektu okolišnog inženjerstva. Naglasak je na satelitima, oceanografskim modelima te servisu Copernicus Marine koji utjelovljuje primjenu oba. Od satelita naglasak je bio na satelitima Sentinel-1 i Sentinel-3 serije te za oceanografske modele specifično NEMO model. Objašnjene su primjene i utjecaji satelita i oceanografskih modela u promatranjima okoliša te kako one pridonose kvaliteti svakodnevice. Nadalje obavljena je analiza temperatura Jadranskog mora, na prvi dan svakog mjeseca od siječnja pa do lipnja pri dubini od 15 metara te interpolirana temperatura za specifičnu točku, pomoću programskog jezika Python. Rješenja su prikazana vizualno, analitički te grafički. U rješenjima analize vidljivo je pad vrijednosti temperatura do ožujka te dalje povećanje vrijednosti sve do lipnja, isti trend vrijedi za minimalne, maksimalne, aritmetičke sredine te interpolirane temperature Jadranskog mora u navedenom vremenskom periodu.

*Ključne riječi: Sentinel sateliti, oceanografski modeli, Copernicus Marine servis, okolišno inženjerstvo*

In this undergraduate thesis, the topic is definition and application of satellite technologies that are used in the aspect of environmental engineering. The emphasis is on satellites, oceanographic models and the Copernicus Marine service, which combines the application of both. Regarding satellites, emphasis was on Sentinel-1 and Sentinel-3 series of satellites and for oceanographic models specifically NEMO model. There is also an explanation of applications and impacts of satellites and oceanographic models in environmental observation and how they contribute to the quality of everyday life. Furthermore, an analysis of the Adriatic Sea was conducted, on the first day of each month from January to June, at a depth of 15 meters, additionally the interpolated temperature for a specific point was determined using programming language Python. The results are shown in a visual, analytical and graphical format. The results show a drop in temperature values up until March and a further increase in values until June, the same trend applies to the minimum, maximum, arithmetic means and interpolated temperatures of the Adriatic Sea in the defined time period.

*Keywords: Sentinel satellites, oceanographic models, Copernicus Marine service, environmental engineering*